



Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão

Liandra Maria Abaker Bertipaglia¹, Gabriel Maurício Peruca de Melo², Atushi Sugohara³,
Wanderley José de Melo⁴, Leticia Abaker Bertipaglia⁵

¹ Pós-graduação em Zootecnia, FCAV/UNESP.

² Doutor em Produção Animal. Pesquisador FUNEP.

³ Departamento de Zootecnia, FCAV/UNESP.

⁴ Departamento de Tecnologia, FCAV/UNESP. Pesquisador CNPq.

⁵ Graduação em Zootecnia, FCAV/UNESP.

RESUMO - Avaliaram-se os efeitos da temperatura do processo de extrusão sobre as características das frações nitrogenadas e dos carboidratos, do extrato etéreo, da digestibilidade *in vitro* da proteína e do fator antitriptico da soja e do milho. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 5×4 , composto de cinco combinações de soja e milho (100% soja; 75% soja e 25% milho; 50% soja e 50% milho; 25% soja e 75% milho; 100% milho, com base na matéria seca) e quatro temperaturas de extrusão (sem extrusão; e extrusão a 80, 100 ou 120°C). O processo de extrusão promoveu aumento na fração lipídica e redução nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), que variaram de acordo com a proporção de milho e soja e com a temperatura de processamento, conseqüentemente, os teores de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) sofreram redução. A mesma tendência foi observada nos teores de lignina, que foram menores nas misturas com até 50% de soja, processadas a 120°C. A extrusão, independentemente da temperatura, promoveu aumento da fração A dos carboidratos, tanto no milho como na soja. Nas frações B2 e C diminuíram com a maior participação de soja na mistura. A extrusão reduziu as frações nitrogenadas A, B1 e C, fato observado nas misturas contendo soja. O processamento promoveu aumento da fração B2, exceto no milho a 100%. Alterações menos significativas foram observadas na fração B3. O processamento por extrusão não altera a digestibilidade *in vitro* da proteína de milho e soja, no entanto, reduz a quantidade de inibidor de tripsina quando as misturas desses grãos são processadas a 120°C.

Palavras-chave: digestibilidade, fração carboidrato, fração lipídio, fração nitrogenada, inibidor de tripsina, temperatura

Chemical changes in soybean and corn processed by extrusion

ABSTRACT - The effects of temperatures of extrusion process on characteristics of nitrogen and carbohydrates fractions, ether extract, *in vitro* protein digestibility and trypsin inhibitor factor of soybean and corn. The experiment was conducted in a completely randomized design, with three replicates in a 5×4 factorial arrangement, with five combinations of soybean and corn (100% soybean, 75 soybean and 25 corn, 50 soybean and 50 corn, and 25 soybean and 75 corn, 100% corn, %DM) and four temperatures of extrusion (without extrusion and extrusion at 80, 100 or 120°C). The process of extrusion promoted increase in the lipid fraction and reduction in levels of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), which changed according to the proportion of soybean and corn and the temperature of processing, consequently, the levels of neutral detergent insoluble protein (NDIP) and acid detergent insoluble protein (ADIP) reduced. The same trend was observed in levels of lignin, which were lower in combinations with up to 50% of soybean, processed at 120°C. The extrusion, regardless of temperature, promoted increasing of A fraction of carbohydrates. The B2 and C fractions decreased with the increase of soybean in the combinations. Extrusion reduced the A, B1 and C nitrogen fractions in combinations containing soybean. Extrusion increase B2 fraction except for 100% corn. Lesser alterations were observed in the B3 fraction. Extrusion did not alter *in vitro* protein digestibility of soybean and corn, however, reduces the amount of trypsin inhibitor factor of when the combinations of these grains are extruded at 120° C.

Key Words: carbohydrate fraction, digestibility, lipid fraction, nitrogen fraction, temperature, trypsin inhibitor factor

Introdução

Métodos de processamento dos alimentos têm sido

introduzidos e avaliados, originando produtos com características nutricionais diversas e nutricionalmente viáveis.

O conhecimento das alterações bromatológicas no alimento submetido a um processamento é imprescindível para a correta suplementação das exigências nutricionais das espécies e categorias animais, além de participar na escolha do tipo de processamento.

As frações dos alimentos com valor nutricional podem ser degradadas, transformadas ou perdidas e, muitas vezes, não são consideradas, em virtude do desconhecimento das alterações promovidas durante o processamento.

Comercialmente, os processamentos mais expressivos da soja integral são a tostagem e a extrusão. A escolha do tipo de processamento se baseia no custo final do produto comercial (Jorge Neto, 1992).

As alterações nas propriedades físicas e químicas dos alimentos extrusados dependem das características do tratamento térmico e são utilizadas como estratégia para melhorar a qualidade do produto (Th, 1990).

O processo de extrusão pode promover alterações no amido, formando uma fração resistente à ação de enzimas do trato gastrointestinal, degradação de polissacarídeos ou complexação com outros polímeros e degradação de estruturas de baixo peso molecular, podendo diminuir o conteúdo de fibra dietética. Segundo Asp & Björck (1989), a extrusão afeta o teor de óleo natural dos alimentos, fato justificado pelo aumento na extratibilidade da fração lipídica, resultante da ação física do processo de moagem e do cozimento sob alta pressão.

São raras as informações sobre os efeitos da temperatura e pressão e do tempo de permanência de alimentos no canhão da extrusora na alimentação de monogástricos e ruminantes. Da mesma forma, são escassas as pesquisas com alimentos extrusados sobre o efeito do processamento térmico sobre a composição bromatológica, física ou biológica.

Nesse contexto, esta pesquisa foi realizada com o intuito de determinar o efeito do processo de extrusão da soja, do milho e de suas misturas, processadas em diferentes temperaturas, na qualidade do produto final, determinada pela digestibilidade *in vitro* da proteína, pelo fracionamento dos componentes nitrogenados e carboidratos, pelo teor de lipídios e pela atividade do inibidor de tripsina.

Material e Métodos

O processamento, que incluiu o processo de moagem dos grãos em moinho tipo martelo, homogeneização das misturas em misturador horizontal e extrusão, foi realizado na Fábrica de Rações da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal.

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 5×4 . O fator A determinou a proporção de mistura entre soja integral e milho: 100% soja; 75% soja e 25% milho; 50% soja e 50% milho; 25% soja e 75% milho; 100% milho, com base na matéria seca. O fator B foi constituído de três temperaturas de processamento (80, 100 e 120°C) e da ausência do processo de extrusão. A temperatura foi obtida no orifício da tráfila utilizando-se termômetro de contato, tipo haste, penetrando-se 2 cm na massa.

A extrusão foi realizada em extrusora de rosca simples. Nas misturas compostas de 100, 75 ou 50% de soja integral, utilizou-se rosca com 25 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento e tráfila com orifício de saída de 12,6 mm de diâmetro. Nas demais proporções, foi utilizada rosca com 25 cm de diâmetro e 57 cm de comprimento, com dois anéis de restrição e diâmetro de saída de tráfila de 7,8 mm.

Durante o processamento, não foi feito uso de vapor no acondicionador da extrusora, o que caracteriza o pré-cozimento. Realizou-se injeção de água diretamente no acondicionador para umedecer o alimento e facilitar o processo de extrusão. O fluxo de água foi ajustado de forma que a mistura atingisse 20% de umidade.

A estimativa do teor de proteína bruta (PB) foi realizada pela metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002). A determinação do teor de extrato etéreo (EE) foi realizada por meio de hidrólise ácida e extração com mistura de éter de petróleo e éter etílico (1:1), de acordo com os procedimentos analíticos descritos em Brasil (1998). As determinações dos teores de lignina (LIG), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) foram determinadas segundo metodologia descrita por Pereira & Rossi Jr. (1994). Na determinação do amido, a gelatinização foi realizada utilizando-se o procedimento descrito em ICC (1995). Após a gelatinização, a amostra foi hidrolisada, utilizando-se amiloglicosidase (Sigma A-3042), segundo Holm et al. (1986). A glicose formada foi quantificada por colorimetria, utilizando-se o complexo enzimático glicose oxidase-peroxidase (Karkalas, 1985).

Na estimativa das frações de carboidrato, de acordo com o sistema Cornell, utilizaram-se as equações descritas por Sniffen et al. (1992). As frações nitrogenadas foram calculadas segundo equações descritas por Licitra et al. (1996).

A digestibilidade *in vitro* da proteína foi determinada segundo procedimento descrito por Akeson & Stahman (1964).

Na determinação da atividade do inibidor de tripsina, utilizou-se o procedimento de Kakade et al. (1969).

Os dados foram inicialmente analisados quanto à normalidade do erro excluindo-se aqueles que não se enquadrassem ao modelo. Seqüencialmente, foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se à comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As análises de variância dos resultados obtidos foram realizadas de acordo com o modelo matemático: $Y_{ijk} = \mu + M_i + T_j + MT_{ij} + e_{ijk}$, em que Y_{ijk} = observação referente à proporção i na temperatura j e repetição k , de modo que $k = 1$ a 3 ; μ = média geral do ensaio; M_i = efeito da proporção, em que $i = 1$ a 5 ; T_j = efeito da temperatura, sendo $j = 1$ a 4 ; MT_{ij} = efeito da interação entre proporção i e temperatura j ; e_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

Resultados e Discussão

No tratamento 100% soja, a extrusão aumentou o teor do extrato etéreo. Os valores observados nas temperaturas de 100 e 120°C foram, em média, 55,4% superiores aos obtidos na amostra *in natura*. Na temperatura de 80°C, o extrato etéreo obtido foi inferior ao encontrado a 100 e 120°C, porém superior ao das amostras *in natura* (Tabela 1).

Na mistura com 75% de soja, a extrusão elevou os teores de EE em relação à mistura *in natura*, independentemente da temperatura. No tratamento da mistura com 50% de soja, a extrusão a 100 e 120°C aumentou os teores de EE, enquanto o processo a 80°C não diferiu do tratamento *in natura* e das demais temperaturas. Utilizando 25% de soja na mistura, o comportamento do EE nas temperaturas de processamento diferiu em comparação ao observado nas demais misturas. No processamento a

120°C houve redução do teor de EE em relação aos grãos *in natura*. Na temperatura de 100°C, o teor de EE não diferiu dos obtidos a 120 e 80°C e da mistura *in natura*. No tratamento com 100% milho, houve redução no teor de EE quando se utilizou temperatura de processamento acima de 100°C.

As alterações na fração lipídica decorrentes da extrusão podem ocorrer de duas formas. Na primeira, a ação física promovida pela pressão e pelo aquecimento promove a ruptura da parede celular, liberando os lipídios do interior da célula, aumentando a fração lipídica livre e facilitando a extração pelo solvente orgânico. Na segunda, há redução no teor de lipídios, em virtude da formação de complexos entre o amido e os lipídios, insolúveis em éter (Haythornthwaite, 1986).

Pablos (1986) observou que grãos de soja submetidos ao processo de extrusão, tanto seco quanto úmido, apresentaram rompimento da membrana celular e exposição dos lipossomos, o que tornou a fração lipídica disponível.

Decréscimo na extratibilidade da fração lipídica tem sido citado por outros autores e observado mesmo após a hidrólise ácida (Guzman et al., 1992; Ho & Izzo, 1992; Vranjes et al., 1995), fato constatado neste trabalho para as proporções 25% soja e 100% milho. Uma possível explicação é a formação de complexos entre as frações amilose e lipídios, estáveis em hidrólise ácida (Haythornthwaite, 1986).

Ho & Izzo (1992) determinaram o efeito da temperatura de extrusão e do teor de umidade sobre a extratibilidade de lipídios em milho. Esses autores observaram redução significativa na extração da fração lipídica do milho extrusado com 20% de umidade e temperatura de processamento de 120°C. Da mesma forma, Guzman et al. (1992) observaram redução de 63,5% na proporção de lipídios livres em milho extrusado a 80 e 120°C.

De forma geral, a extrusão reduziu os teores de FDN nos tratamentos avaliados (Tabela 2). Nas misturas contendo 100 ou 75% de soja, valores inferiores foram observados na temperatura de 120°C. No tratamento 100% de soja, não se detectou diferença significativa entre as temperaturas 80 e 100°C. No entanto, no tratamento 75% de soja, as temperaturas de processamento apresentaram diferenças significativas e que os teores decresceram de acordo com o aumento da temperatura. Nas demais proporções, independentemente da temperatura de processamento, a extrusão promoveu redução na FDN em comparação à mistura *in natura*.

Os valores de FDA nos tratamentos 100 e 75% de soja processada na temperatura de 120°C foram inferiores aos obtidos nas demais temperaturas de extrusão e da mistura *in natura*. As temperaturas 80 e 100°C não diferiram entre

Tabela 1 - Composição em extrato etéreo, obtida por hidrólise ácida de misturas de soja e milho *in natura* e de misturas extrusadas em diferentes temperaturas, expressa em porcentagem da matéria seca

Tratamento	Processamento (°C)			
	<i>In natura</i>	80	100	120
100% soja	13,9c	16,8b	22,2a	21,1a
75% soja	15,1b	17,4a	18,3a	18,4a
50% soja	11,2b	13,2ab	13,7a	13,5a
25% soja	7,6a	8,3a	7,3ab	5,9b
100% milho	4,4a	4,0a	1,8b	2,0b
CV (%) = 5,97				

Médias com letras minúsculas na linha diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

Tabela 2 - Valores médios da fração fibrosa e de lignina de misturas de soja e milho *in natura* e de misturas extrusadas em diferentes temperaturas (% MS)

Tratamento	Processamento (°C)			
	<i>In natura</i>	80	100	120
Fibra em detergente neutro (%MS)				
100% soja	22,5a	13,0b	13,6b	10,6c
75% soja	22,6a	14,6b	11,8c	8,6d
50% soja	20,6a	12,6b	13,9b	12,4b
25% soja	17,6a	10,4b	11,6b	10,9b
100% milho	18,5a	12,1b	12,1b	10,7b
CV (%) = 6,23				
Fibra em detergente ácido (%MS)				
100% soja	20,8a	9,2b	8,0b	6,4c
75% soja	15,8a	7,7b	8,3b	5,7c
50% soja	13,0a	5,6b	5,5b	5,1b
25% soja	6,7a	3,5b	3,3b	3,4b
100% milho	4,4a	2,3b	2,5b	2,0b
CV (%) = 6,22				
Lignina (%MS)				
100% soja	0,9c	1,5b	2,6a	1,5b
75% soja	2,1a	1,5a	2,2a	0,6b
50% soja	1,3ab	2,0a	1,9a	1,1b
25% soja	1,1a	0,7a	1,2a	1,2a
100% milho	0,8a	0,7a	0,6a	0,7a
CV (%) = 23,47				
Fração A (%CT)				
100% soja	54,9b	68,3a	67,1a	71,5a
75% soja	48,2b	59,6a	63,7a	67,7a
50% soja	35,6b	46,8a	44,7a	47,7a
25% soja	27,7b	36,9a	36,4a	39,4a
100% milho	15,6b	24,1a	27,3a	26,4a
CV (%) = 4,54				
Fração B1 (%CT)				
100% soja	4,4a	4,9a	4,7a	4,8a
75% soja	17,2a	15,7a	15,7a	16,5a
50% soja	36,9a	34,6a	34,7a	33,9a
25% soja	52,2a	50,9a	49,6a	47,9a
100% milho	65,3a	63,4a	61,4a	62,7a
CV (%) = 2,91				
Fração B2 (%CT)				
100% soja	36,0a	19,0b	14,1b	15,2b
75% soja	31,0a	17,9b	10,6b	12,7b
50% soja	22,8a	10,9b	13,3b	14,3b
25% soja	16,7a	10,2a	10,5a	8,8b
100% milho	16,9a	10,5a	9,5b	8,8b
CV (%) = 14,70				
Fração C (%CT)				
100% soja	4,6c	7,7b	14,1a	8,5b
75% soja	8,7a	6,8a	10,0a	3,1b
50% soja	3,5b	7,6a	7,2a	4,0a
25% soja	3,4a	2,1a	3,5a	3,8a
100% milho	2,1a	1,9a	1,8a	2,0a
CV (%) = 23,48				

CT = carboidratos totais.

Médias com letras minúsculas na linha diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

si, mas diferiram do tratamento *in natura*. Nas demais misturas, o processamento, independentemente da temperatura, promoveu redução nos teores de FDA.

No tratamento 100% de soja, a extrusão elevou os teores de lignina, de modo que os maiores teores foram observados na temperatura de 100°C. Na mistura contendo 75% de soja, o processamento a 120°C promoveu redução significativa em relação à mistura *in natura*, de modo que as demais temperaturas não apresentaram diferença significativa em relação à mistura não processada.

O processo de extrusão não promoveu alterações nos teores de lignina nas misturas com 50 e 25% de soja e 100% de milho.

Segundo Siljestrom et al. (1986), a extrusão do farelo de trigo elevou os teores de lignina com o aumento da temperatura de processamento, fato justificado pela ocorrência da reação de Maillard.

Camire & Flint (1991) citaram que o efeito da extrusão sobre o teor de lignina de soja integral não foi claro. No entanto, observaram significativa redução (50%) do teor de lignina em resíduo de batata (casca) extrusado.

O processo de extrusão empregado, independentemente da temperatura, ou da proporção entre soja e milho, promoveu aumento nos valores da fração A, disponibilizando maior quantidade de carboidratos prontamente solúveis para os microrganismos ruminais. Esses compostos solúveis no rúmen são rapidamente digeridos quase na sua totalidade em comparação aos compostos insolúveis (Van Soest, 1994).

Oda et al. (1988) avaliaram o conteúdo de fibra solúvel e insolúvel em grãos de aveia descascados e em farinha de aveia, *in natura* e extrusados, e obtiveram níveis superiores de fibra solúvel nos alimentos extrusados, o que atribuíram à transformação da fibra durante o processo de extrusão. Resultados semelhantes foram obtidos por Gutkoski & El-Dash (1999).

Na fração B1, que agrupa amido, pectina e glucanas, o processo de extrusão não promoveu alteração nas proporções de soja e milho avaliadas. Esse resultado pode ser justificado basicamente pelo fato de o processo de extrusão nas temperaturas avaliadas não ter alterado o teor de amido das misturas de milho e soja avaliadas. A concentração média de amido nos tratamentos 100% soja, 75% soja, 50% soja, 25% soja e 100% milho foi, respectivamente, 4,4; 17,2; 36,9; 52,1 e 65,3% da matéria seca.

Na fração B2, nos tratamentos 100, 75 e 50% soja, observou-se diminuição do teor, independentemente da temperatura, de 55,2; 55,7 e 43,7%, respectivamente. Essa diminuição provavelmente se deve à solubilização da

fração disponível da parede celular. Os tratamentos 25% soja e 100% milho só foram alterados pela extrusão nas temperaturas de 120°C e a partir de 100°C, respectivamente.

No tratamento 100% soja, a extrusão foi responsável por elevar os valores da fração C, caracterizada pela porção indisponível da parede celular. O maior valor foi obtido na temperatura de 100°C e foi três vezes superior ao do tratamento *in natura*. As temperaturas de 80 e 120°C não diferiram entre si e foram, em média, 1,7 vezes superiores ($P < 0,05$) ao tratamento *in natura*. Na mistura contendo 75% soja, o processo de extrusão nas temperaturas de 80 e 100°C não promoveu alterações significativas, no entanto, na temperatura de 120°C, houve significativa redução nos valores da fração C.

O comportamento observado na fração C do tratamento 100% soja pode ser explicado pela possível interação entre carboidrato e proteína, formando complexo indigestível, provavelmente reação de Maillard, representada por compostos indigestíveis e de difícil hidrólise.

O modelo estima a fração indisponível com base no teor de lignina. A fibra indisponível é lignina x 2,4 (Smith et al., 1972) e representa o material remanescente após 72 horas de fermentação *in vitro*. A lignina não impede a digestão simplesmente por encrustar ou encobrir os nutrientes. Ao contrário, protege o carboidrato “associado” da digestão. Este mecanismo ainda não é inteiramente conhecido (Van Soest, 1994).

Os teores de proteína bruta das misturas de soja e milho avaliadas não foram afetados pela temperatura do processo de extrusão, o que está de acordo com os resultados obtidos por Konishi et al. (1999).

Observou-se redução dos teores de PIDN nas misturas que continham soja, independentemente da temperatura do processo de extrusão. Na mistura com 100% de milho, a temperatura de 100°C elevou os teores em relação às demais temperaturas e à mistura sem processamento. Como discutido anteriormente, o processo de extrusão promoveu redução na composição percentual de FDN e era de se esperar redução nos teores de PIDN (Tabela 3).

Os teores de PIDA nas misturas com 100, 75 e 50% de soja, independentemente da temperatura, reduziram significativamente com o processamento por extrusão. Nos tratamentos com 25% de soja e 100% de milho, o processo de extrusão não promoveu alterações nos teores de PIDA.

Os resultados neste trabalho são contraditórios aos apresentados por Drackley & Schingoethe (1986), que observaram diminuição da solubilidade da proteína da soja e do girassol com o processo de extrusão, o que resultou no aumento da quantidade de PIDA.

O processo de extrusão promoveu alterações significativas na fração nitrogenada A, constituída de compostos nitrogenados não protéicos, nos tratamentos que continham soja, alterações que variaram com a temperatura e a composição da mistura. No tratamento 100% soja, o processamento a 100°C promoveu redução desta fração, fato não observado nas demais temperaturas. Nas misturas que continham 75 e 50% de soja, o processo de extrusão promoveu redução significativa nos valores da fração em comparação às misturas não processadas. Os menores valores foram observados na temperatura de 80°C. No tratamento com 25% de soja, os menores valores foram observados na temperatura de 120°C.

Drackley & Schingoethe (1986) citam que o processo de extrusão pode proteger a proteína de uma mistura de soja integral e girassol, de forma que a mistura processada terá 10% menos nitrogênio solúvel, aumentando a quantidade de nitrogênio insolúvel em detergente ácido.

Na fração B1, composta de proteínas solúveis e rapidamente degradadas no rúmen, nos tratamentos que continham soja na mistura, quando processada, observaram-se valores reduzidos da fração, com exceção do tratamento 75% soja na temperatura de processamento de 100°C.

Nos tratamentos com soja, o processo de extrusão promoveu elevação dos valores da fração B2, composta pela proteína solúvel em detergente neutro, que é a porção digerível no rúmen, representada pelas proteínas insolúveis, com taxa de degradação intermediária no rúmen. No tratamento com 100% soja, o aumento acompanhou a temperatura de processamento. No tratamento que continha 100% de milho, com exceção da temperatura de processamento de 100°C, houve aumento da fração B2.

As frações B1 e B2 são responsáveis por disponibilizar lentamente compostos nitrogenados e peptídeos no rúmen. A biomassa bacteriana ruminal que utiliza carboidrato não estrutural pode aumentar quando ocorre adequada disponibilidade da fração B1 no rúmen (Russell et al., 1992).

A fração B3, que corresponde à fração da proteína insolúvel em detergente neutro, mas solúvel em detergente ácido, que é a fração com taxa de degradação lenta no rúmen, não foi afetada pelo processo de extrusão nos tratamentos que encerravam 100, 75 e 50% de soja na mistura. No tratamento que continha 25% de soja, a temperatura de 100°C promoveu redução significativa da fração B3 ($P < 0,05$). No tratamento que continha 100% milho, as temperaturas de 80 e 120°C promoveram redução nos valores da fração B3, em comparação à mistura *in natura*, enquanto a temperatura de 100°C causou aumento da fração.

Tabela 3 - Fração nitrogenada de misturas de soja e milho *in natura* e de misturas extrusadas em diferentes temperaturas (% MS)

Tratamento	Processamento (°C)			
	<i>In natura</i>	80	100	120
Proteína insolúvel em detergente neutro (%MS)				
100% soja	2,5a	0,8b	0,7b	0,6b
75% soja	1,7a	1,1b	0,7b	0,4b
50% soja	1,6a	0,8b	0,9b	0,6b
25% soja	1,6a	0,8b	0,5b	1,0b
100% milho	1,5b	1,3b	2,1a	1,2b
CV (%) = 19,01				
Proteína insolúvel em detergente ácido (%MS)				
100% soja	3,0a	1,2b	1,0b	0,4b
75% soja	2,6a	0,9b	0,9b	0,5b
50% soja	1,8a	0,9b	0,9b	0,4b
25% soja	1,0a	0,5a	0,4a	0,4a
100% milho	0,6a	0,4a	0,3a	0,7a
CV (%) = 27,72				
Fração A (%PB)				
100% soja	16,9a	16,1a	9,8b	16,7a
75% soja	32,4a	5,3c	14,7b	11,5b
50% soja	26,4a	6,2c	16,2b	13,6b
25% soja	28,9a	13,2b	14,6b	7,6c
100% milho	6,2a	12,0a	5,7a	6,7a
CV (%) = 8,75				
Fração B1 (%PB)				
100% soja	13,2a	9,3b	10,6b	3,1c
75% soja	7,3a	2,0b	7,9a	2,3b
50% soja	7,4a	2,4b	2,2b	2,3b
25% soja	3,4a	1,6b	1,2b	1,3b
100% milho	3,0a	2,0a	1,9a	1,5a
CV (%) = 13,57				
Fração B2 (%PB)				
100% soja	56,7c	69,6b	74,1ab	75,9a
75% soja	47,9d	84,3a	71,9c	82,4b
50% soja	53,5c	82,5a	74,7b	77,6b
25% soja	48,9b	71,5a	75,9a	76,1a
100% milho	55,7c	63,8b	37,7d	67,7a
CV (%) = 2,37				
Fração B3 (%PB)				
100% soja	5,7a	1,1a	2,6a	2,9a
75% soja	6,2a	5,6a	2,9a	2,2a
50% soja	7,6a	6,2a	4,1a	5,3a
25% soja	15,8a	12,2a	7,1b	13,8a
100% milho	33,3b	21,2c	53,6a	22,2c
CV (%) = 10,05				
Fração C (%PB)				
100% soja	7,4a	3,8b	2,8b	1,3c
75% soja	6,1a	2,7b	2,5b	1,5b
50% soja	5,1a	2,6b	2,8b	1,2c
25% soja	2,9a	1,4b	1,3b	1,1b
100% milho	1,7a	1,0a	0,9a	1,9a
CV (%) = 14,27				

Médias com letras minúsculas diferentes na linha diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

Ao considerar a fração C, que representa a fração da proteína insolúvel em detergente ácido (composta por nitrogênio associado à lignina e proteína alterada pelo calor (Mailard), ou seja, proteínas insolúveis indigeríveis no rúmen e nos intestinos), no tratamento com apenas milho (100% milho), não foi observado efeito do processo de extrusão. Nos demais tratamentos, o processo de extrusão promoveu redução nos valores dessa fração e, nos tratamentos com 100 e 50% de soja, os menores valores foram observados na temperatura de 120°C.

O processo de extrusão não alterou significativamente a digestibilidade *in vitro* da proteína (Tabela 4).

Nos ensaios *in vitro*, na digestão protéica, os produtos iniciais da digestão podem inibir a velocidade de hidrólise das reações subseqüentes. Entretanto, apesar disso, os métodos reproduzem, no limite do possível, a digestão gastrintestinal e buscam tornar o processo aberto por meio da remoção simultânea dos produtos de digestão e fornecem indicação valiosa do potencial de digestibilidade das fontes protéicas (Bodwell et al., 1980).

Coelho (1993) observou que o tratamento térmico resultou em aumento da digestibilidade das proteínas do feijão, e que a digestibilidade *in vitro* da proteína da farinha de feijão integral autoclavada não diferiu ($P > 0,01$) dos valores de digestibilidade aparente ou verdadeira, determinadas *in vivo*.

O tratamento térmico de fontes protéicas, como a soja integral, pode melhorar a eficiência como é utilizada pelos ruminantes. São poucos os resultados de pesquisa que comprovam a diminuição da degradação da proteína no rúmen e a redução da quantidade de proteína e aminoácidos no intestino delgado (Plegge et al., 1985).

Goelema (1999) obtiveram resultados semelhantes para a digestibilidade *in vitro* da proteína de soja extrusada, que não diferiu entre as temperaturas de 100°C, durante 7 minutos, e 136°C, durante sete minutos (92,6 e 95,3%, respectivamente).

Segundo Mercier (1993), em processo térmico drástico, a digestibilidade da proteína diminui e a disponibilidade biológica dos aminoácidos é afetada. Em condições brandas de extrusão, a digestibilidade da proteína é elevada, provavelmente em virtude da desnaturação da proteína e da inativação de inibidores proteolíticos.

De acordo com Lourenço (2000), a fibra solúvel exerce ação significativa na redução da digestibilidade tanto *in vitro* como *in vivo* das proteínas das leguminosas. A fibra solúvel pode atuar aumentando a viscosidade e reduzindo o fluxo dos fluidos intestinais, ou alterando a visco-

Tabela 4 - Digestibilidade *in vitro* da proteína e inibidor de tripsina de misturas de soja e milho *in natura* e de misturas extrusadas em diferentes temperaturas, expressos em porcentagem da matéria seca

Tratamento	Processamento (°C)			
	<i>In natura</i>	80	100	120
	Digestibilidade <i>in vitro</i> da proteína (%PB)			
100% soja	43,7a	47,9a	46,4a	48,1a
75% soja	48,2a	48,3a	50,9a	49,3a
50% soja	49,4a	58,9a	52,3a	54,5a
25% soja	55,7a	56,0a	55,9a	55,4a
100% milho	62,4a	66,6a	64,4a	68,3a
CV (%) = 7,00				
	Inibidor de tripsina (UTI/mg amostra desengordurada)			
100% soja	78,7a	78,6a	78,2a	42,3b
75% soja	69,2a	53,3a	54,7a	27,0b
50% soja	50,5a	34,5b	32,4b	23,1b
25% soja	18,5a	12,9a	6,5a	0,3b
100% milho	1,1a	0,3a	0,2a	0,05b
CV (%) = 14,53				

Médias com letras minúsculas diferentes, na linha, pelo teste Tukey (P<0,05)

sidade da água, que transporta os aminoácidos para o interior das células epiteliais intestinais, ou ainda sobre a adsorção às enzimas digestivas interferindo na ligação destas com seus substratos protéicos. Por outro lado, a interação amido-proteína também é um fator que reduz a digestibilidade da proteína, uma vez que o amido diminui a extensão de hidrólise das ligações peptídicas.

A digestibilidade *in vitro* da proteína não foi um bom parâmetro para avaliar o efeito do processo de extrusão sobre a proteína dos alimentos testados nas condições experimentais utilizadas (Tabela 4). Era esperada uma diferença maior entre os tratamentos, pois houve diferença de solubilidade entre frações da proteína das misturas avaliadas.

O efeito sinérgico entre os fatores calor e pressão durante o processo de extrusão poderia oferecer uma alternativa ao uso da soja integral para ruminantes. No entanto, dados de pesquisa com uso da soja integral extrusada em ruminantes, para aumentar a proteína potencialmente degradável que escapa da degradação ruminal e a disponibilidade de aminoácidos no intestino, são escassos, inclusive para a padronização da temperatura, da umidade e do tempo de permanência do material na extrusora (Aldrich et al., 1995).

Uma vez que o inibidor da atividade de tripsina é uma proteína, esperava-se que fosse degradada pelos microrganismos no rúmen. Entretanto, Baintner et al. (1993) obser-

varam evidências de que o inibidor de tripsina não foi eficientemente degradado no rúmen de ovelhas alimentadas com farelo de soja cru e detectaram atividade da enzima na digesta intestinal 30 minutos após os animais serem alimentados, além do comprometimento da digestibilidade de alguns aminoácidos. Esse resultado sugere que os ruminantes são tão suscetíveis aos efeitos do inibidor de tripsina quanto os monogástricos.

Os valores de inibidor de tripsina diminuíram (P<0,05) nos alimentos 100% soja, 75% soja e 25% soja, no processo de extrusão a 120°C. Na mistura contendo 50% soja, houve diferença entre o alimento *in natura* e o extrusado, com diminuição na atividade do inibidor. Foi observado efeito redutor da temperatura no inibidor de tripsina no alimento 100% milho na temperatura de 120°C (P<0,05).

Goelema (1999) observaram valores de 2,1 mg de inibidor de tripsina/g de soja processada sob condições de alta temperatura e umidade (1,2 bar e 64% de umidade), em comparação aos alimentos processados sob 0,6 bar e 1,9% umidade (v/p), com valor de 11,1 mg/g (P<0,05). Faldet et al. (1992) observaram diminuição de 44, 16 e 10 mg/g, respectivamente, na atividade do inibidor de tripsina da soja integral em relação à soja integral tostada a 140°C, durante 30 minutos, e 160°C, durante 30 minutos.

Conclusões

O processo de extrusão dos grãos de milho e soja altera a qualidade do produto final, pois afeta a disponibilidade da fração lipídica, a redistribuição dos componentes da fração fibrosa e nitrogenada e a redução da atividade do inibidor de tripsina. Essas alterações, em sua maioria, dependem da temperatura de processamento e da proporção de soja e milho. As alterações nas frações nitrogenadas causadas pela extrusão não influenciam a digestibilidade *in vitro* da proteína. O uso de baixo teor de umidade no processo de extrusão pode ser uma das causas da ineficiência do processo, assim como o curto período de permanência do produto sob cozimento no canhão da extrusora. Os resultados obtidos reforçam a importância do conhecimento das alterações na composição bromatológica atribuídas às alterações nas frações nitrogenadas e de carboidratos causadas pelo processamento.

Literatura Citada

- AKESON, W.R.; STAHMANN, M.A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, v.83, p.257- 261, 1964.
- ALDRICH, C.G.; MERCHEN, N.R.; NELSON, D.R. et al. The effect of roasting temperature applied to whole soybeans on site of

- digestion by steers: II. Protein and amino acid digestion. **Journal of Animal Science**, v.73, p.2131-2140, 1995.
- ASP, N.; BJÖRCK, I. Nutrition properties of extruded foods. In: MERCIER, C.; LINKO, D.; HARPER, J.M. (Eds.) **Extrusion cooking**. Minnesota: American Association of Cereal Chemistry, 1989. p.399-434.
- BAINTNER, K.; FARNINGHAM, D.A.H.; BRUCE, L.A. et al. Fate of the antinutritive proteins of soybean in the ovine gut. **Journal of Veterinary Medicine**, v.40, p.427-431, 1993.
- BODWELL, C.E.; SATTERLEE, L.D.; HACKLER, L.R. Protein digestibility of the same protein preparation by human and rat assay and by in vitro enzymic digestion methods. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.33, p.677-686, 1980.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Métodos Analíticos de Alimentos para Animais. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. Brasília: ANFAR, SDR, 1998.
- CAMIRE, M.E.; FLINT, S.I. Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal and potato peels. **Cereal Chemistry**, v.68, p.645-647, 1991.
- COELHO, R.G. **Qualidade protéica e biodisponibilidade de metionina em proteínas do feijão IAC-CARIOCA 80 SH (Phaseolus vulgaris, L)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1993. 190p. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- DRACKLEY, J.K.; SCHINGOETHE, D.J. Extruded blend of soybean meal and sunflower seeds for dairy cattle in early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.371-384, 1986.
- FALDET, M.A.; SATTER, L.D.; BRODERICK, G.A. Determining optimal heat treatment of soybeans by measuring available lysine chemically and biologically with rats to maximize protein utilization by ruminants. **Journal of Nutrition**, v.122, p.151-160, 1992.
- GOELEMA, J.O. **Processing of legume seeds: effects on digestive behaviour in dairy cows**. Marijkeweg: Wageningen Institute of Animal Sciences, 1999. 336p. Thesis (PhD in Animal Nutrition) - Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen Agricultural University, 1999.
- GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A. Efeito do cozimento por extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de moagem (>532 mm) de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.119-127, 1999.
- GUZMAN, L.B.; LEE, T.-C.; CHICHESTER, C.O. Lipid binding during extrusion cooking. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. (Eds.) **Food extrusion science and technology**. New York: Marcell Dekker, 1992. p.427-436.
- HAYTHORNTHWAITE, A. **Extrusion: as a toll for improved nutritional value of feeds**. Reading: Creative Press, 1986. 4p.
- HO, C.T.; IZZO, M.T. Lipid protein and lipid carbohydrate interaction during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. (Eds.) **Food extrusion science and technology**. New York: Marcell Dekker, 1992. p.427-436.
- HOLM, J.I.; BJÖRCK, A.; DREWS, N.G. ASP. A rapid method for the analysis of starch. **Starch/Starke**, v.38, p.224-226, 1986.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY - ICC. **Standard methods**. Determination of starch content by calcium chloride dissolution. N. 122/1, 1995, Vienna.
- JORGE NETO, G. Soja integral na alimentação de aves e suínos. **Avicultura e Suinocultura Indústria**, v.82, n.988, p.4-15, 1992.
- KAKADE, M.L.; SIMONS, N.; LIERNER, I.E. An evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. **Cereal Chemistry**, v.46, p.518-526, 1969.
- KARKALAS, J.J. An improved enzymatic method for determination of native and modified starch. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.36, p.1019-1027, 1985.
- KONISHI, C.; MATSUI, T.; PARK, W. et al. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.80, p.115-122, 1999.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fraction of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LOURENÇO, E.J. **Tópicos de proteínas de alimentos**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 344p.
- MERCIER, C. Nutritional appraisal of extruded foods. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v.144, p.45-53, 1993.
- ODA, T.; AOE, S.; NAKAOKA, M. et al. Changes in the dietary fiber content of oats with extrusion cooking and their effect on cholesterol metabolism in rats. **Journal of Japanese Society Nutrition and Food Science**, v.41, p.449-456, 1988.
- PABLOS, J.B. Consideraciones sobre el uso de la soya integral en la alimentación de las aves. **Soya (ASA)**, v.61, p.1-4, 1986.
- PEREIRA, J.R.A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. 34p.
- PLEGGE, S.D.; BERGER, L.L.; FAHEY JR., G.C. Effect of roasting temperature on the proportion of soybean meal nitrogen escaping degradation in the rumen. **Journal of Animal Science**, v.61, p.1211, 1985.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3551-3561, 1992.
- SATTER, L.D. Protein supply from undegraded dietary protein. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.2734-2749, 1986.
- SILJESTROM, M.; WESTERLUNDS, E.; BJÖRCK, I. et al. **Extrusion as a toll for improved nutritional value of feeds**. Reading: Creative Press, 1986. 4p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.
- SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; GORDON, C.H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.1140, 1972.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-77, 1992.
- TH, J. Residence time distributions in twin-screw cooking extruders. In: SPIESS, W.E.L.; SCHUBERT, H. (Eds.) **Engineering and food advanced process**. New York: Elsevier Applied Science, 1990. v.3, p.290-297.
- Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-97, 1994.
- VRANJES, M.V.; PFIRTER, H.P.; WENK, C. Influence of processing on dietary enzyme effect and nutritive value of diets for laying hens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.75, p.453-460, 1995.